

Использование сканирующей ближнепольной оптической микроскопии для исследования мощных полупроводниковых лазеров

Ю.С. Полубавкина¹, Н.В. Крыжановская¹, Э.И. Моисеев¹, Ф.И. Зубов¹, Н.Ю. Гордеев^{1,2},
А.С. Паюсов^{1,2}, Ю.М. Шерняков^{1,2}, С.А. Минтаиров^{1,2}, Н.А. Калюжный^{1,2},
М.М. Кулагина², М.В. Максимов¹, А.Е. Жуков¹

¹ СПбАУ РАН, 194021, Санкт-Петербург, Россия

polubavkina@mail.ru

² ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе были исследованы карты распределения ближнего поля InGaAs/GaAs/AlGaAs полосковых инжекционных лазеров при различных токах накачки. Было показано, что в структурах, состоящих из двух резонансно связанных волноводов, наблюдается подавление мод высоких порядков.

Near field scanning optical microscopy for investigation of high power semiconductor lasers

Yu.S. Polubavkina¹, N.V. Kryzhanovskaya¹, E.I. Moiseev¹, F.I. Zubov¹, N.Yu. Gordeev^{1,2},
A.S. Payusov^{1,2}, Yu.M. Shernyakov^{1,2}, S.A. Mintairov², N.A. Kalyuzhnyy², M.M. Kulagina²,
M.V. Maximov¹, A.E. Zhukov¹

¹ St Petersburg Academic University of RAS, 194021, St Petersburg, Russia

² Ioffe Institute, 194021, St Petersburg, Russia

Near field intensity distributions of InGaAs/GaAs/AlGaAs lasers including broadened waveguides based on coupled large optical cavity (CLOC) structures were investigated. It was demonstrated that scanning near field optical microscopy gives direct proof of suppressing the transverse high-order mode lasing.

Существует большое количество применений мощных полупроводниковых лазеров, требующих высокую мощность излучения и высокое качество луча [1]. Одной из проблем, ограничивающих максимальную выходную мощность, является катастрофическое оптическое разрушение зеркал. Эффективным способом уменьшения оптической плотности мощности является увеличение эффективного размера моды в вертикальном и латеральном направлениях, простейшим из которых является увеличение геометрического размера волновода [2]. Такое расширение, однако, ограничено переходом в пространственно-многомодовый режим генерации [3]. Для анализа состава мод важно определить картину ближнего поля на излучающей грани лазера с субволновым разрешением. Весьма удобным инструментом, в этой связи, оказывается сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ) с апертурным кантилевером, позволяющая также получать одновременно рельеф выходного зеркала лазера (Рис. 1).

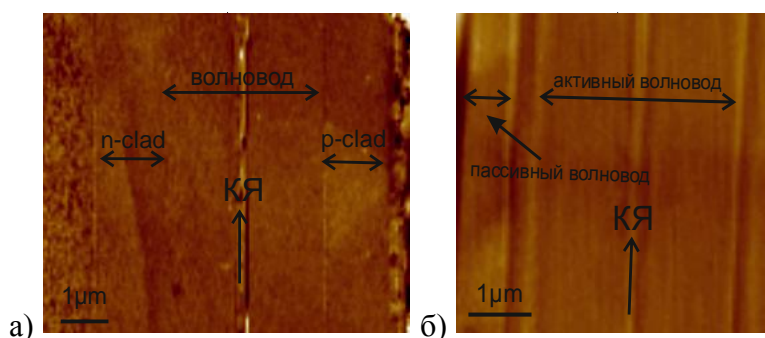


Рисунок 1. АСМ изображения поверхности зеркала лазера: (а) с одним широким активным волноводом и (б) с CLOC волноводом.

В данной работе исследовались картины распределения ближнего поля двух лазерных структур, имеющих уширенный волновод. Обе гетероструктуры были выращены методом металлоорганической газофазной эпитаксии (МОГФЭ) на n -легированных подложках GaAs (100). Первая структура имеет широкий GaAs волновод толщиной 2,5 мкм с активной областью, располагающейся в центре и состоящей из двух InGaAs квантовых ям, излучающих на длине волны примерно 1040 нм. Как было сказано выше, такая конструкция волновода обеспечивает переход в пространственно-многомодовый режим генерации, поэтому был предложен простой и эффективный способ подавления мод высоких порядков, основанный на структуре со связанными волноводами [4] (CLOC волновод). Концепция использует эффект резонансного туннелирования [5] между двумя параллельными волноводами, расположенными в непосредственной близости друг к другу, поэтому вторая исследованная структура имела дополнительный узкий пассивный волновод толщиной 610 нм, отстоящий от широкого волновода на расстоянии 250 нм.

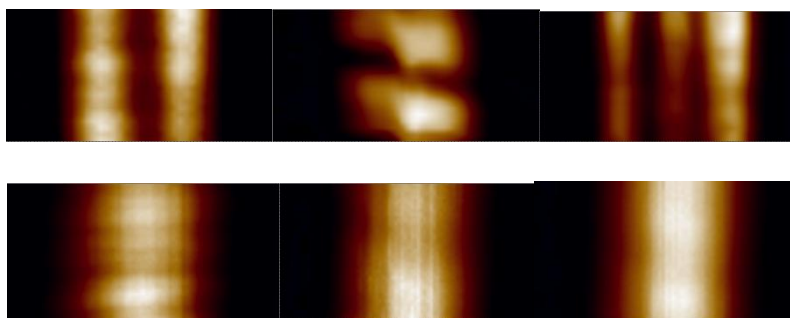


Рисунок 2. Картины распределения ближнего поля для первой структуры (верхний ряд) и для CLOC структуры (нижний ряд) при $I=1$ А, 2 А и 3 А (слева направо).

Для того чтобы определить модовый состав двух данных лазеров, были исследованы картины распределения ближнего поля при различных токах накачки. Чтобы предотвратить нагрев лазера, накачка осуществлялась в импульсном режиме с частотой 1 кГц и длиной импульса 600 нс. В данной работе был использован зондовый микроскоп Интегра Спектра от компании НТ-МДТ. Сбор сигнала осуществлялся стократным объективом Mitutoyo с $NA=0.5$ через кантилеверный зонд с апертурой около 100 нм. Из картин распределения ближнего поля было определено, что в первой структуре, имеющей один широкий волновод, электромагнитное поле распределено соответственно моде первого порядка, и с увеличением тока накачки начинается конкуренция между модами более высоких порядков (Рис. 2). В лазере же, имеющем связанные волноводы, генерация при любых токах накачки происходит при участии только фундаментальной моды.

Полученный результат имеет важное практическое значение для применений мощных полупроводниковых лазеров. Использование сканирующего зондового микроскопа как инструмента для исследования лазерных структур дает большое количество полезной информации о работающем приборе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (соглашение № 14-42-00006-П)

1. H.G. Treusch and R. Pandey, *High Power Laser Handbook* (2011)
2. A. Pietrzak, P. Crump, H. Wenzel, G. Erbert, F. Bugge, and G. Trankle, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron*, **17**, 1715 (2011).
3. А.Е. Жуков, *Основы физики и технологии полупроводниковых лазеров*. (СПб.: Академ. Унта), 364 (2016)
4. N.Yu. Gordeev et al., *Optics Letters*, **40**, 21502152 (2015)
5. B.E. Little and W.P. Huang, *Prog. Electromagn. Res.*, **10**, 217 (1995)